

Langstreckenflugbetrieb mit zweimotorigen Flugzeugen



Vortrag von
Claus Cordes
Flugkapitän, Dipl.-Ing.
für DGLR
HAW Hamburg
23.03.2006

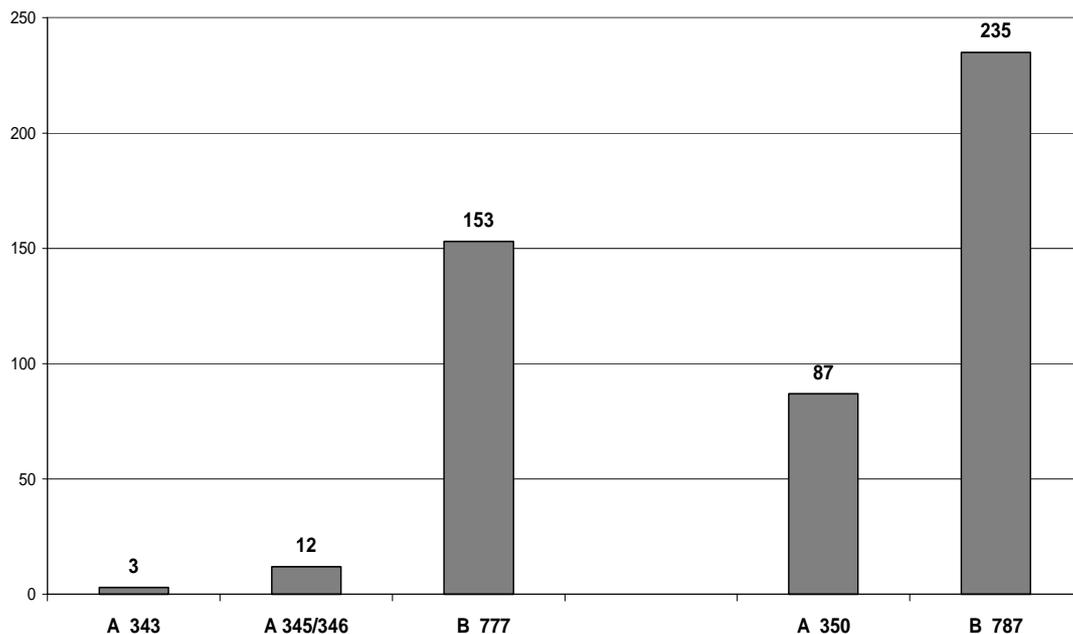
Verfügbar im Internet unter <http://hamburg.dgfr.de>

Einleitung

Seit Mitte der 1980er Jahre findet vermehrt Langstreckenflugbetrieb mit zweimotorigen Flugzeugen statt. Die Boeing Typen B 757, B 767 sowie der Airbus A 310-300 und der A 306 kamen nach Inkrafttreten der ETOPS – Regeln vermehrt auf den Nordatlantikrouten zum Einsatz, die bis dahin den dreimotorigen DC 10 und L 1011, sowie den viermotorigen B 707, DC 8 und B 747 Flugzeugen vorbehalten waren. Mit Ausweitung der ETOPS Regeln auf 180 Minuten Flugzeit bis zum Erreichen eines Ausweichflughafens nach Ausfall eines Motors hat sich der Einsatz der genannten Typen ausgeweitet und einen neuerlichen Aufschwung mit Indienstellung des Airbus A 330 und der Boeing B 777 erfahren. Durch den Einsatz relativ kleiner Langstreckenflugzeuge ist es möglich geworden, eine große Anzahl neuer Verbindungen anzubieten.

Die Eingänge der Flugzeugbestellungen im Segment der 250 – bis 350 – sitzigen Flugzeuge bei den beiden verbliebenen großen Herstellern deuten daraufhin, dass vermehrt zweistrahlige Flugzeuge auch auf extremen Langstrecken und in einem Marktsegment, das bisher viermotorigen Flugzeugen vorbehalten war, eingesetzt werden sollen.

Flugzeugbestellungen 2005



Dieser Vortrag befasst sich mit den betrieblichen Aspekten des Einsatzes von zweimotorigen Flugzeugen auf Langstreckenflügen hinsichtlich der geschichtlichen Entwicklung, der Auslegungsparameter der Entwürfe, der Problemstellungen im täglichen Einsatz und der wirtschaftlichen Vor- und Nachteile. Zum Ende gibt der Autor seine persönliche Einschätzung ab.

Kommentare und Nachfragen sind vom Autor ausdrücklich erbeten. Alle mit dem Thema befassten Piloten, Ingenieure und Studenten seien zum Gedankenaustausch ausdrücklich ermuntert, zumal das Thema in dem vorgegebenen Rahmen nicht erschöpfend behandelt werden kann. Der Autor ist unter cordes.claus@t-online.de erreichbar.

Geschichte der Langstreckenflugzeuge

Die Geschichte zeigt, dass es bei den Anfängen der Langstreckenfliegerei zunächst keine bestimmte Anzahl an Motoren eines Flugzeuges gab, die für Einsätze über große Distanzen prädestiniert war. Die „Spirit of St. Louis“ sowie die „Bremen“, mit denen die ersten Flieger den Nordatlantik überquerten, waren einmotorige Flugzeuge. Demgegenüber wies die Dornier Do – X als Großflugboot die stattliche Anzahl von 12 Motoren auf. Allmählich begann sich dann aber die Ausführung mit vier Motoren durchzusetzen. Bemerkenswert ist hier der Flug einer Focke – Wulf 200 „Condor“ von Berlin nach New York im Jahre 1938, dem weitere Flüge mit diesem Muster nach Fernost folgten. Eine erhebliche Steigerung der „Nutzlast“ über längere Strecken wurde mit den schweren viermotorigen Bombern der anglo-amerikanischen Luftstreitkräfte im Verlaufe des Zweiten Weltkrieges erreicht. Die mangelnde Verfügbarkeit ausreichend starker Motoren sowie die Redundanz nach Feindeinwirkung waren dabei das ausschlaggebende Kriterium bei der Festlegung der Anzahl der Motoren.

Auch nach dem Zweiten Weltkrieg blieb es bei der aufkommenden zivilen Langstreckenfliegerei für lange Zeit bei viermotorigen Entwürfen. Die Ära der großen Kolbenmotoren endete mit den Typen Douglas DC 7, Boeing Stratocruiser und der Lockheed L 1049 „Super Constellation“. Die verwendeten Sternmotoren mit bis zu 3500 PS Leistung (Curtiss Wright Turbo Compound) markierten das Ende der Entwicklung.

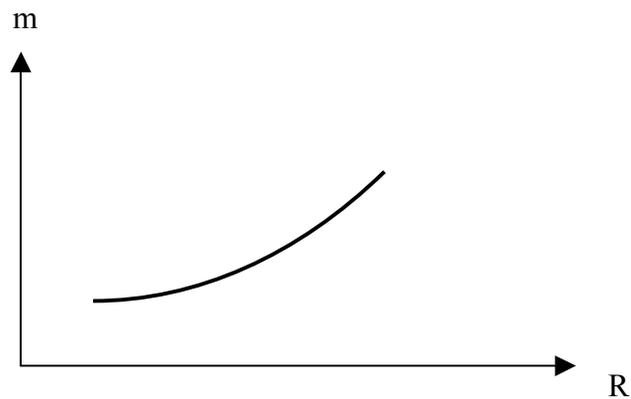
Eine neue Generation von Langstreckenflugzeugen entstand mit den vierstarrahigen Entwürfen De Havilland „Comet“, Boeing B 707, Douglas DC 8 und Convair Coronado, die für etwa ein Jahrzehnt den Langstreckenverkehr beherrschten und sowohl die Nutzlast als auch die Reisegeschwindigkeit verdoppelten. Eine abermalige Verdoppelung der Nutzlast wurde mit der Indienstellung der Boeing B 747 „Jumbo Jet“ im Jahre 1969 erreicht. Anfang der siebziger Jahre erschienen die Typen DC 10 und Lockheed L 1011 als dreimotorige Flugzeuge auf dem Markt und sicherten sich schnell einen Stammplatz auf den transkontinentalen Routen. Mitte der siebziger erschien der neue europäische Hersteller Airbus auf dem Markt und produzierte das erste zweimotorige Großraumflugzeug, den A 300, der in der Version B 4 auch schon auf längeren Strecken mit Flugzeiten bis zu sechs Stunden zum Einsatz kam. Anfang der achtziger Jahre erschienen die Modelle B 757, B 767 und A 310, die als Zweimots erstmals transkontinentale Reichweite aufwiesen. Seit der behördlichen Freigabe Mitte des Jahrzehnts flogen diese Muster auf vielen „kleinen“ Langstrecken, vornehmlich aber auf den Nordatlantikstrecken, wo sie zunehmend die Drei- und Viermots verdrängten und die Eröffnung neuer Verbindungen ermöglichten. Einen weiteren Reichweitemprung der Zweimots gab es mit der Inbetriebnahme des A 330 und der B 777, die Ende 2005 mit einem Flug über etwa 22.000 km einen neuen Langstreckenrekord für Passagierflugzeuge aufstellte. Die neuen Entwürfe A 350 und B 787, die in zwei bis vier Jahren den Liniendienst aufnehmen sollen, sind auf Reichweiten mit voller Passagiernutzlast von etwa 15.000 km projektiert. Die Nachfrage nach diesen Mustern ist bemerkenswert.

Technische Herausforderung: **Langstreckenflugzeug**

Die Gesamtmasse eines Flugzeuges, das mit hoher Nutzlast eine weite Strecke zurücklegen soll, steigt überproportional mit seiner projektierten Aufgabe. Das hat folgende technische Ursache :

$$R = -\frac{E \cdot v}{b_F \cdot g} \cdot \ln\left(1 - \frac{m_K}{m_0}\right)$$

Wie aus der Gleichung für die Reichweite zu erkennen ist, nimmt diese ab, wenn die Gesamtmasse m_0 zunimmt. Ursache dafür ist wiederum eine hohe erforderliche Gesamtkraftstoffmasse für den beabsichtigten langen Flug, die ihrerseits eine Massenzunahme durch eine tragfähigere Struktur und stärkere Motoren mit höheren Gesamtverbräuchen bedingt. Die erforderliche Kraftstoff- und damit besonders die Gesamtmasse eines Flugzeuges nimmt mit der zu erzielenden Reichweite überproportional zu.



Diese Problematik lässt sich durch folgende Maßnahmen abmildern, bleibt aber grundsätzlich immer erhalten:

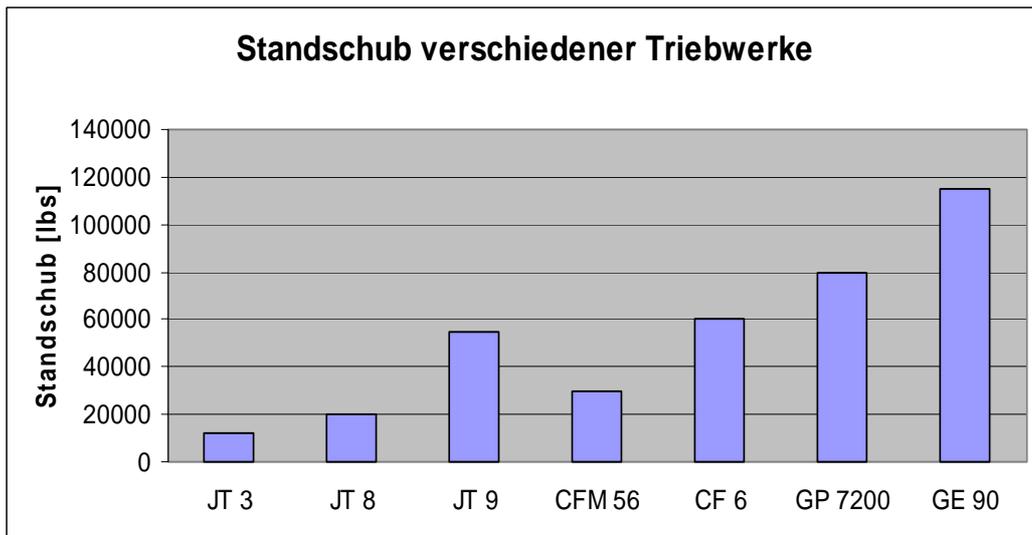
- Verbesserung der Gleitzahl E
- Erhöhung der Fluggeschwindigkeit v
- Minderung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs b_F
- Minderung der Strukturmasse m_K

Auf diesen Gebieten wurden in der Vergangenheit große Fortschritte erzielt, einzig die Fluggeschwindigkeit kann im transsonischen Bereich nicht mehr nennenswert erhöht werden.

Hohe Startmassen erfordern **schubstarke Triebwerke**

Um Flugzeuge mit hohen Startmassen auch bei Ausfall eines Triebwerkes sicher „in die Luft“ zu bekommen, sind schubstarke Triebwerke erforderlich, insbesondere dann, wenn ein Entwurf nur zwei Motoren vorsieht.

Die Graphik zeigt anhand einiger ausgewählter Triebwerke die Steigerung der erreichten Standschübe in den letzten vier Jahrzehnten.



Das derzeit schubstärkste Triebwerk GE 90 – 115 hat auf dem Prüfstand einen Stand Schub von mehr als 125.000 lbs (ca. 570 kN) entwickelt.

Hohe Systemzuverlässigkeit erforderlich

Für die Beschreibung der Auswirkung von Bauteilausfällen wurde ein System entwickelt, das den Grad der Auswirkung und die zulässige Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines eine solche Auswirkung verursachenden Fehlers beschreibt.

Auswirkung :

„minor“ Auswirkung eines Fehlers / Ausfalls, die die Sicherheit des Fluges nicht nachhaltig beeinträchtigt, und die von der Besatzung mit geringfügig höherer Arbeitsbelastung abgearbeitet werden kann

„major“ Auswirkung eines Ausfalls / Fehlers, die die Fähigkeit eines Flugzeuges und / oder seiner Besatzung schwierige operationelle Umstände zu bestehen in einem Ausmaß einschränkt, so dass es zu einer deutlichen Reduzierung der Sicherheitsmargen kommt, die Arbeitsbelastung der Besatzung stark ansteigt, und Beeinträchtigungen der Insassen oder leichte Verletzungen in geringer Zahl hinzunehmen sind

„hazardous“ Auswirkung eines Ausfalls / Fehlers, die die Fähigkeit eines Flugzeuges und / oder seiner Besatzung schwierige operationelle Umstände zu bestehen in einem Ausmaß einschränkt, so dass es zu einer schwerwiegenden Reduzierung der Sicherheitsmargen kommt, die Arbeitsbelastung der Besatzung so stark ansteigt, dass Routineaufgaben nicht vollständig und sicher erledigt werden können und schwere oder tödliche Verletzungen in geringer Zahl hinzunehmen sind.

„catastrophic“ die sichere Fortführung des Fluges und eine sichere Landung sind nicht mehr erreichbar

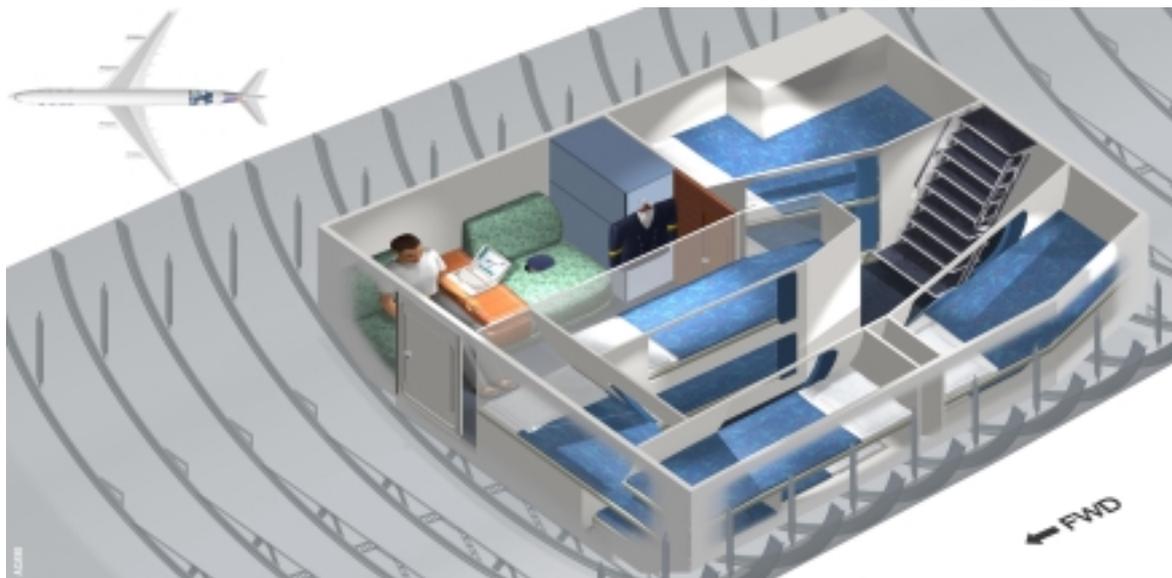
Die genannten Auswirkungen dürfen nicht häufiger auftreten als mit einer Wahrscheinlichkeit von :

- „minor“ : öfter als einmal in 10^5 Flugstunden
- „major“ : einmal in 10^5 bis 10^7 Flugstunden
- „hazardous“ : einmal in 10^7 bis 10^9 Flugstunden
- „catastrophic“ : weniger als einmal in 10^9 Flugstunden

Flugphysiologie für Besatzungen und Passagiere

Die heute möglichen extrem langen Flugzeiten (von 8 Stunden bis zu 18 Stunden) erfordern zumindest für die Besatzungen angemessene Zeiträume und Örtlichkeiten für ausgedehnte Ruhepausen. Das Bild zeigt eine solche Möglichkeit.

Version: 1 Flight crew + 9 cabin attendants



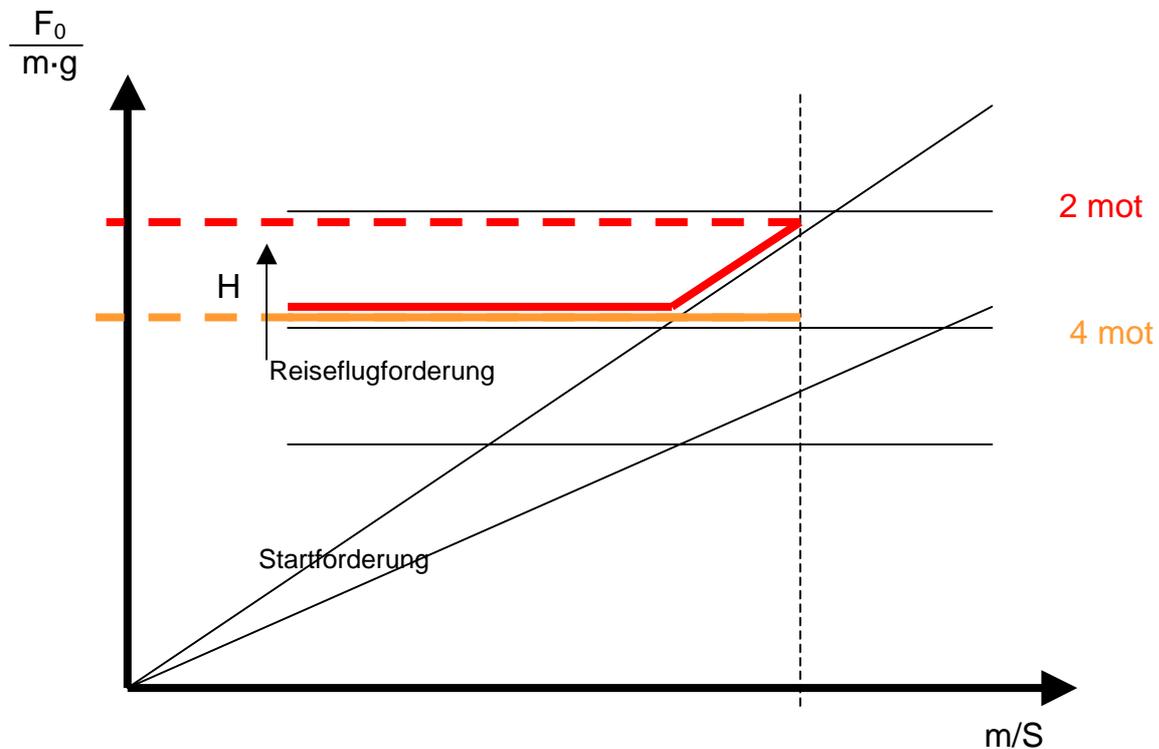
Auslegungskriterium **Start- und Reiseflugforderung**

Die Startforderung beschreibt den Mindeststandschub, der am Flugzeug installiert werden muss, um die geforderten Flugleistungen für eine sichere Fortsetzung des Starts nach einem Triebwerksausfall zu erreichen. Zweimotorige Flugzeuge sind hier durch den Verlust von 50% des Schubes bei Ausfall eines Motors gegenüber viermotorigen deutlich benachteiligt, was durch geringere Anforderungen nur teilweise kompensiert wird.

Die Reiseflugforderung beschreibt den Mindestschub, der zum Erreichen der projektierten Reisemachzahl erforderlich ist. Ein zu hoher Standschub kann dazu führen, dass die Motoren

im Reiseflug unterhalb des Auslegungsbereiches arbeiten und dabei zu hohe Werte für den spezifischen Kraftstoffverbrauch aufweisen.

Das Diagramm gibt die Verhältnisse als Vergleich eines zwei- mit einem viermotorigen Entwurf qualitativ wieder.



Die Graphik zeigt, dass für zweimotorige Flugzeuge bei gleicher Masse (Flächenbelastung) höherer Standschub zu installieren ist. Folgendes Zahlenbeispiel bestätigt diese Behauptung :

Verhältnis Standschub zu Abflugmasse F_0 / mg

A 340 – 500 : 0,26

B 777 – 200 LR : 0,31

Ein zweimotoriger Entwurf bietet den Vorteil eines aerodynamisch saubereren Außenflügels, der die Gleitzahl verbessern hilft (siehe RW-Gleichung). Demgegenüber steht der Vorteil eines geringeren Biegemomentes an der Flächenwurzel durch die Außenmotoren bei einem viermotorigen Entwurf, wodurch die Struktur leichter ausgelegt werden kann.

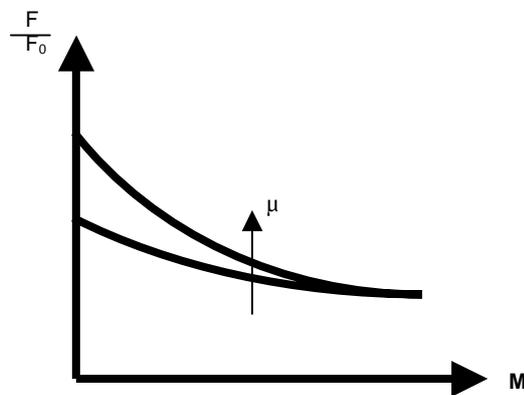
Die Tankanlage eines viermotorigen Flugzeuges ist in der Regel komplexer aufgebaut, um jedes Triebwerk aus einem separaten Tank versorgen zu können. Möglichkeiten zur Querversorgung nach Triebwerksausfall erhöhen die Systemkomplexität und damit die Masse und den Beschaffungspreis weiter.

Zur Vermeidung sich kaskadenartig aufbauender Fehlerketten ist es bei zweimotorigen Entwürfen, die auf Langstrecken nach ETOPS Regeln eingesetzt werden sollen u.U.

erforderlich, Komponenten wie Generatoren, Kraftstoff- und Hydraulikpumpen mit höherer Redundanz einzuplanen, also beispielsweise zwei Generatoren pro Triebwerk vorzusehen, wodurch sich Masse, Systemkomplexität und Anschaffungspreis wiederum erhöhen.

Triebwerke für Langstreckenflugzeuge

Das geschilderte Problem der „Unterforderung“ schubstarker Triebwerke zweimotoriger Langstreckenflugzeuge mindert sich, mit steigendem Nebenstromverhältnis. Während die erste Generation großer Zweikreisturboluftstrahltriebwerke Nebenstromverhältnisse von etwa $\mu = 5$ aufwies, erreicht das Triebwerk GE 90 einen Wert von $\mu = 9$. Der große Teil der Luftmasse im kalten Kreis wird erheblich weniger beschleunigt als der Teil im heißen Kreis, weswegen der Gesamtschub des Triebwerkes bei einem hohen Nebenstromverhältnis als Funktion der Machzahl schneller abfällt.



Auf diese Weise ist es möglich, dass ein zweimotoriges Flugzeug seinen zunächst sehr hohen Schubüberschuss aus der Startbedingung bei entsprechender Auslegung für Flughöhe und Reisemachzahl abbaut und die Triebwerke im Reiseflug günstige spezifische Brennstoffverbräuche erzielen.

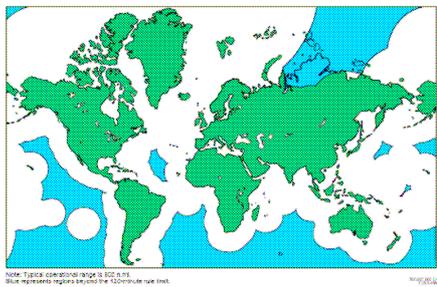
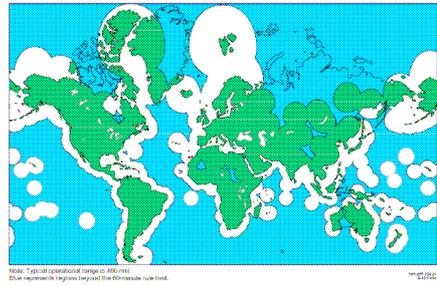
EROPS / ETOPS – Bestimmungen

Erste Beschränkungen für längere Flüge wurden von der FAA im Jahre 1936 erlassen, die für Streckenflüge die maximale Distanz zwischen zwei Flugplätzen, die im Falle von Störungen angefliegen werden konnten, auf 100 Meilen festlegten.

Diese Regel wurde 1954 von der FAA zur 60 Minuten Regel umformuliert. Nach Einführung neuer Technologien und hier insbesondere der Strahltriebwerke, bei denen die Ausfallrate um 90 % niedriger als bei den zuletzt eingesetzten Kolbenmotoren lag, war eine Überarbeitung dieser Regel möglich und notwendig. Im Jahre 1985 wurde das FAA AC 120 – 42 erlassen, dass unter Auflagen die 60 Minuten Regel auf 120 Minuten erweitert. Im Jahre 1993 folgte die JAA mit IL 20. Mit zunehmenden Erfahrungen über den Einsatz von Zweimots auf Langstrecken wurde die Karenzzeit auf 180 Minuten erweitert. Für bestimmte Flüge auf dem

Nordpazifik gestattete die FAA einigen US amerikanischen Linien die Anwendung noch größerer Karenzzeiten.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die erschließbaren Streckengebiete mit 60, 120 und 180 Minuten einmotoriger Flugzeit bis zu einem Ausweichflughafen.



Eine Erweiterung der im Grunde weiterhin gültigen 60 Minuten Regel ist für einen Antragsteller erreichbar, wenn er ein definiertes Maß an Erfahrung im Flugbetrieb und in der Wartung der Flugzeuge erlangen / nachweisen kann und seine Fähigkeit, die vorgeschriebenen Verfahren korrekt anzuwenden fortlaufend nachweisen kann.

Dazu gehören u.a. im Bereich der Flugzeugwartung :

- Flugzeugkonfiguration und Wartungsplan nach CMP
- Erstellen eines ETOPS Wartungshandbuchs
- Definition einer ETOPS Vorflugkontrolle
- Einrichtung eines Programms zur Verfolgung des Ölverbrauchs
- Einrichtung eines Programms zur fortlaufenden Überwachung des Zustandes der Triebwerke

- Einrichtung eines Programms zur Überwachung der Zuverlässigkeit des ETOPS Betriebes
- Einrichtung eines Programms zur Überwachung ETOPS relevanter Komponenten
- Auflagen für Wartungsarbeiten
- Durchführung einer speziellen ETOPS Schulung für Wartungsmitarbeiter

Und im Bereich des Flugbetriebes :

- Einrichtung ETOPS relevanter Flugplanungsverfahren
- Einrichtung ETOPS relevanter Flugdurchführungsverfahren
- Besatzungsschulung
- Fortlaufende Überwachung des Betriebes

Zu den Verfahren der Flugplanung gehört z.B., dass sichergestellt sein muss, dass ein notwendiger Ausweichflughafen im Zeitraum von einer Stunde vor frühester Ankunft bis eine Stunde nach spätester Ankunft anfliegbar sein muss. Außerdem muss gegebenenfalls Extrakraftstoff mitgeführt werden, um die verminderte spezifische Reichweite nach Ausfall eines Motors zu kompensieren.

Die Wirksamkeit der Anwendung der ETOPS Wartungsverfahren bei United Airlines hat, wie die Graphik zeigt, auf der Gesamtflotte der B 767, also auch auf Flugzeugen, die nicht auf Langstrecken eingesetzt werden, zu einer deutlichen Absenkung der IFSD (inflight shut down rate) geführt.

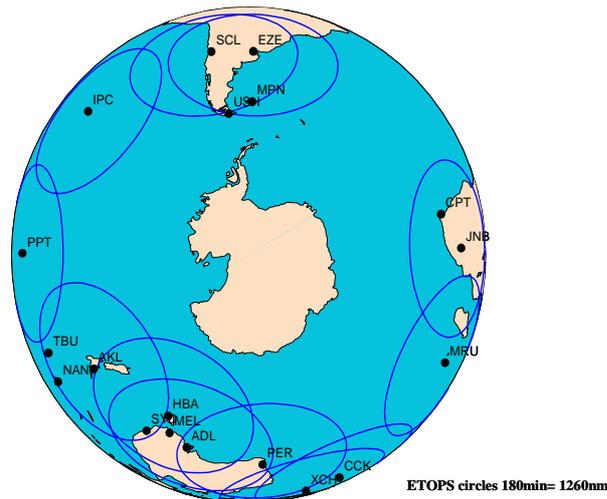


Gegenwärtig werden die ETOPS Bestimmungen mit dem Ziel, allgemein gültige Bestimmungen für Langstreckenflüge, die dann auch für Flugzeuge mit mehr als zwei Motoren Gültigkeit haben, zu erarbeiten, neu definiert: LROPS. Long Range Operations. Dabei wird die Fokussierung der ETOPS Bestimmungen auf den Ausfall eines Triebwerkes überwunden und auf andere Bereiche wie Systemausfälle, Brandschutz und medizinische Notfälle erweitert. Folgende Aspekte finden dabei Berücksichtigung :

- für alle Langstreckenflugzeuge
- neue Strecken führen über extreme Gebiete
- sehr lange Flugzeiten (bis zu einem Ausweichflugplatz)
- Daten für IFSD aus MCL für MCT nicht anwendbar
- Anflug eines extremen Flughafens : Auswirkung major → hazardous

- zeitkritische Probleme einiger Systeme bei ETOPS nicht berücksichtigt
- Klassifizierung des überflogenen Geländes
- Berücksichtigung des Ausfalls zweier Triebwerke
- Ausweichzeit darf nicht länger sein als das Zeitlimit eines kritischen Systems

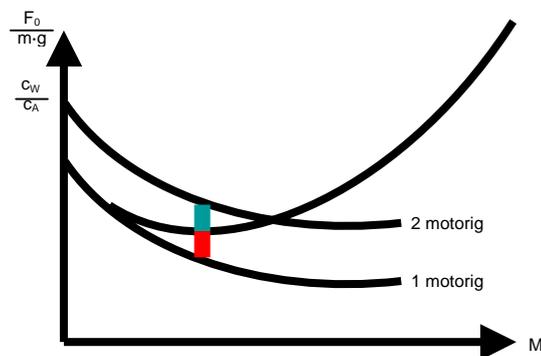
Wie die Graphik zeigt sind davon insbesondere mögliche zukünftige Flugstrecken auf der Südhalbkugel betroffen.



Flugmechanische Probleme bei Triebwerksausfall

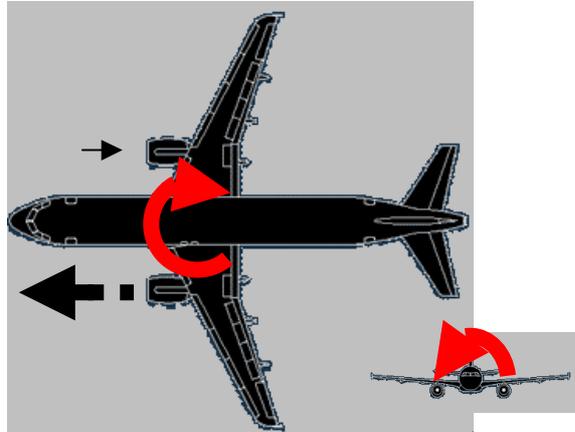
Fällt bei einem zweimotorigen Flugzeug im Reiseflug in der dafür günstigsten Flughöhe ein Triebwerk aus, kommt es zu folgenden flugmechanischen Problemen, die deutlicher bemerkbar sind als bei einem viermotorigen Flugzeug :

50 % des Schubes gehen verloren, dieser Verlust kann durch Setzen von Maximum Continuous Thrust (MCT) auf dem verbliebenen Triebwerk nur zu einem geringen Teil kompensiert werden.



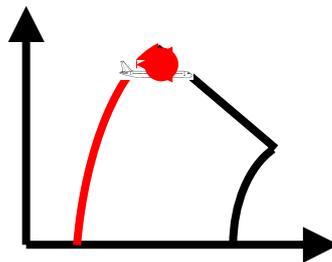
Infolge des asymmetrischen Schubes kommt es zu einem starken Giermoment und durch die Kopplung der Bewegungen um die Hoch- und Längsachse ebenfalls zu einem starken Rollmoment.

starkes Gier- und Rollmoment



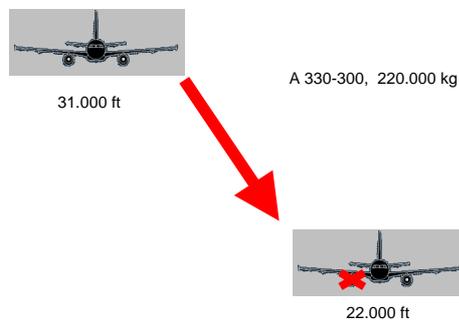
Die Fahrt nimmt schnell ab und nähert sich der Mindestgeschwindigkeit an.

sehr schneller Fahrtabbau und Annäherung an Mindestgeschwindigkeit



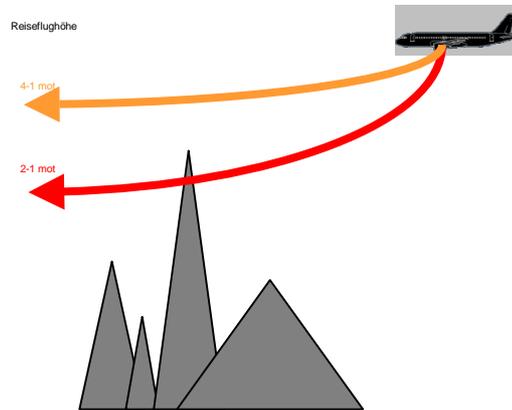
Nach Ausfall eines Triebwerkes muss der Flug deutlich tiefer durchgeführt werden.

Flug muss deutlich tiefer fortgeführt werden

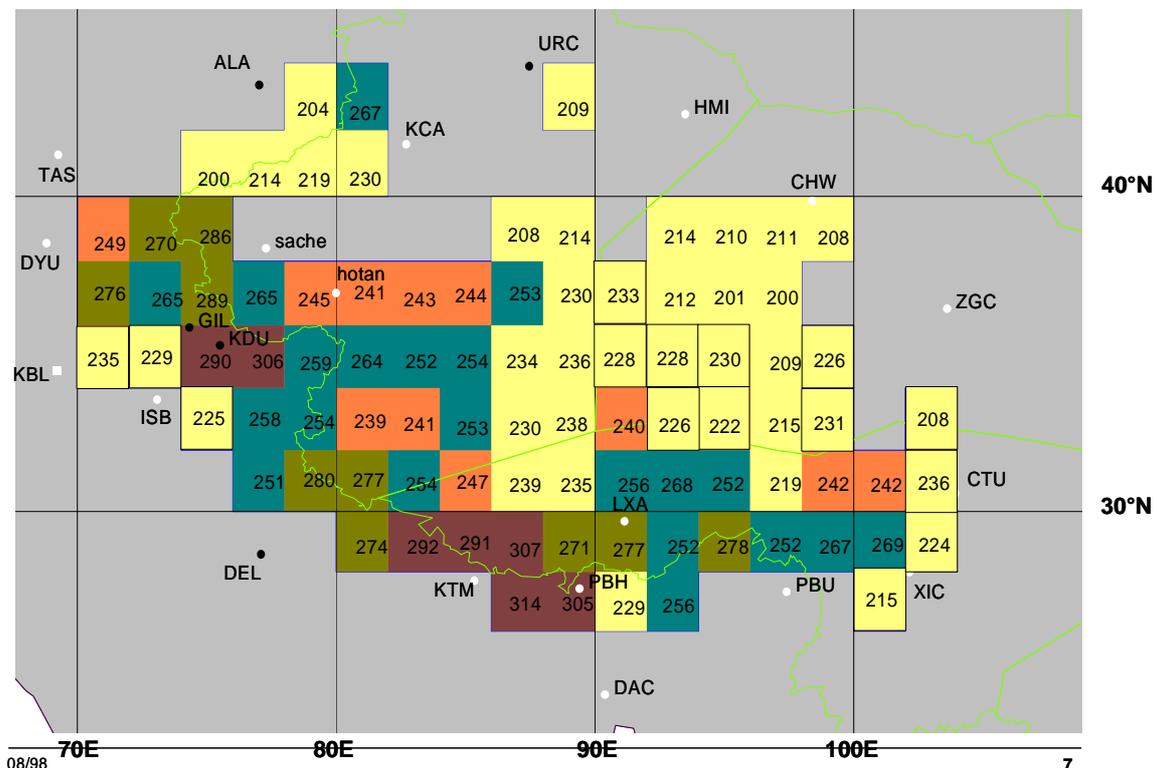


Operationelle Probleme nach Triebwerksausfall

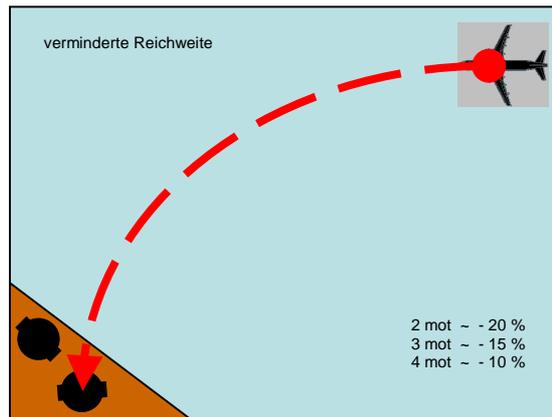
Es muss sichergestellt werden, dass auf der gewählten Flugstrecke auch nach Ausfall eines Triebwerkes alle Hindernisse mit der geforderten Hindernisfreiheit überflogen werden können.



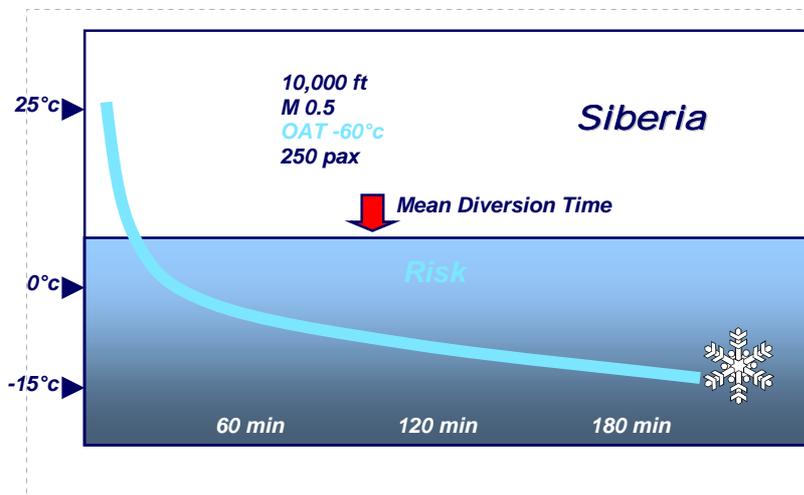
Dies ist für Langstreckenflüge mit zweimotorigen Flugzeugen besonders im Bereich des Himalaja Gebirges nicht gegeben.



Nach Ausfall eines Triebwerkes reduziert sich die Reichweite eines zweimotorigen Flugzeuges um etwa 20 %, das Erreichen eines Zielflughafens am Ende einer langen Überwasserstrecke kann so fraglich werden, insbesondere dann, wenn durch die Nähe des vorgeschriebenen Ausweichflughafens die vorgeschriebenen Reserven gering sind. Die Mitnahme von zusätzlichem Kraftstoff mit allen nachteiligen Erscheinungen kann dadurch erforderlich werden.



Die Auswirkungen eines Triebwerksausfalls auf andere Systeme müssen berücksichtigt werden, können wegen der geringen Zahl der „Energiequellen“ aber sehr viel gravierender sein, als bei viermotorigen Flugzeugen. Deswegen sind bei der Erstellung der MEL (Minimum Equipment List) strengere Restriktionen anzuwenden. Als Beispiel sei der Ausfall eines Triebwerkes bei gleichzeitigem Ausfall der Zapfluftanlage auf der gegenüberliegenden Seite genannt. Damit ist die Druck- / Klimaanlage insgesamt ausgefallen, weswegen der Flug unter erheblicher Einbuße bei der Reichweite in 10.000 ft weitergeführt werden muss, und sich die Temperatur im Inneren des Flugzeuges deutlich absenkt.



Im Falle des Ausfalls eines Triebwerkes mit einem zweimotorigen Flugzeug muss der nächste erreichbare Flughafen, der wegen der dort aktuell herrschenden meteorologischen und flugleistungsseitig relevanten Verhältnissen anfliegbar ist, angefliegen werden. Dabei kann es zu nicht unerheblichen operationellen Problemen kommen. An dieser Stelle sei daran erinnert, dass der Pilot eines einmotorigen Flugzeuges immer so fliegen sollte, dass jederzeit außergelandet werden kann. Die als ETOPS Ausweichflughäfen geplanten Flughäfen bieten nicht immer ideale Voraussetzungen. So kann das Wetter auf den Flughäfen der Arktis innerhalb der Karenzzeit umschlagen, oder die Oberflächenbedingungen (Schnee und Eis auf der Piste) sind schon unter den normalen Umständen eines voll intakten Flugzeuges nicht ideal. Außerdem kann es erforderlich sein, die Passagiere an Bord zu behalten, da Wege zu

schützenden Gebäuden im Freien nicht folgenlos überwunden werden können. Auf der Pazifikinsel Midway besteht erhebliche Gefahr eines zweiten Triebwerksversagens durch Vogelschlag, da hier eine große Population von Albatrossen lebt.

Bei der Planung eines Fluges nach ETOPS Regeln muss jeder ETOPS Ausweichflughafen im Zeitraum von einer Stunde vor der frühestmöglichen Landung bis zu einer Stunde nach der spätestmöglichen Landung den erhöhten Wettermindestbedingungen entsprechen.

Die nachfolgende Tabelle gibt auszugsweise den entsprechenden Paragraphen 1.297 der JAR.OPS wieder.

type of approach	planning minima airport with		
	2 sep appr proc 2 nav aids 2 rwys	2 sep appr proc 2 nav aids 1 rwy	1 app proc 1 nav aid 1 rwy
CAT II / III	CAT I	non precision minima	
CAT I	non prec min	circling or non prec + 200' / 1000 m	
non prec min	lower of non prec + 200'/1000 m or circling	higher of circling or non prec + 200' / 1000 m	
circling	circling minimum		

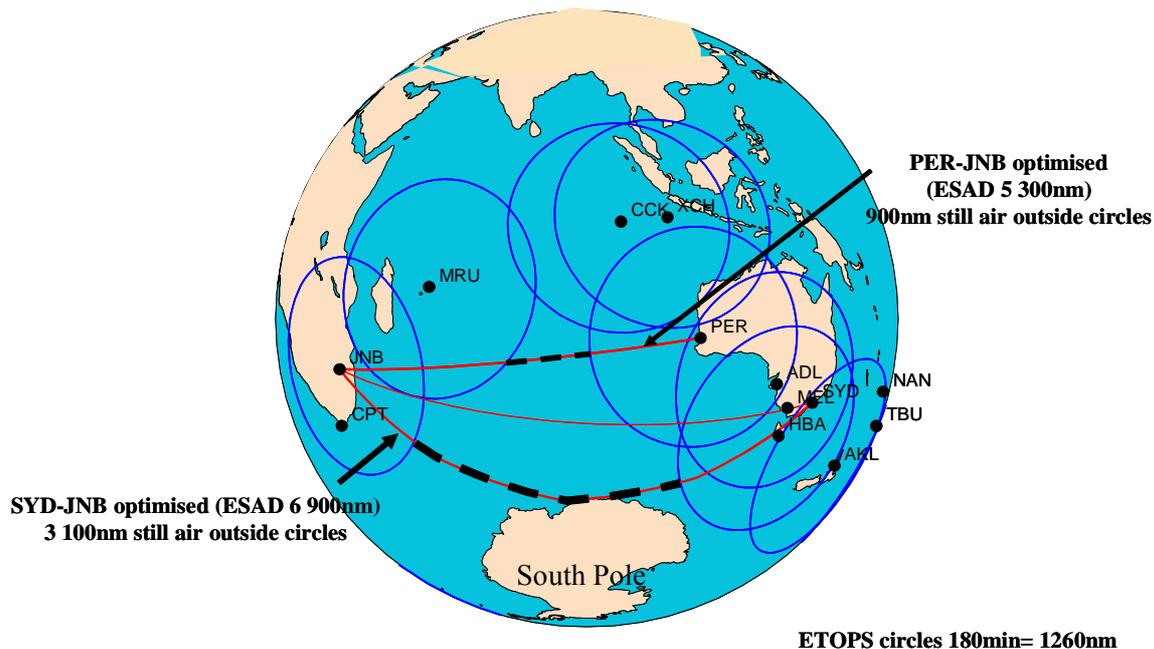
Verminderte Flugleistungen

Wird es beim Anflug eines geeigneten, aber nicht idealen Ausweichflughafens notwendig, ein Durchstartmanöver einzuleiten, sind häufig keine auf Einmotorenflug bezogenen Fehlanflugverfahren veröffentlicht, die Besatzungen sind auf sich allein gestellt.

Gebiete, die nach den gegenwärtig gültigen Bestimmungen **mit Zweimots nicht befliegbare** sind :

Wie die Graphiken zeigen, handelt es sich hierbei um

- Teile der Arktis
- die Antarktis
- den Südatlantik
- den Südpazifik
- Teile des Nordpazifiks (mit 180 min.)
- Teile des Himalaja Gebirges



Probleme auf Langstreckenflügen, die zwei- und viermotorige Flüge gleichsam betreffen

Eine Reihe von Problemen, die auf Langstreckenflügen auftreten, betreffen zwei- und viermotorige Flugzeuge gleichermaßen. Dadurch kann die Notwendigkeit einer Ausweichlandung entstehen, ohne dass es an einem Triebwerk zu einem Problem gekommen ist. Erfahrungsgemäß stehen hier medizinische Probleme bei Passagieren an erster Stelle. Für den Kommandanten des Fluges besteht in einem solchen Fall das größte Problem darin, ausreichend Informationen zu erhalten, die als Entscheidungsgrundlage dienen können. Das betrifft sowohl den Zustand des erkrankten Passagiers als auch Informationen darüber, auf welchem bald erreichbaren Flugplatz die erforderliche Hilfe geleistet werden kann. Insbesondere in entlegenen Gebieten kann die zur Verfügung stehende medizinische Hilfe nicht ausreichend sein. Es wird an verbesserten Möglichkeiten zur Analyse des Gesundheitszustandes gearbeitet, die helfen sollen, eine Empfehlung an die Besatzung auszusprechen, bzw. Hinweise geben können, welches unter den gegebenen Umständen aus medizinischer Sicht der geeignete Ausweichflughafen ist.

Brände jeder Art an Bord stellen eine erhebliche Gefährdung dar, und zu ihrer Vermeidung müssen die entsprechenden Feuerverhütungsvorschriften unbedingt und genau eingehalten werden. Generell ist der Ausbruch von Feuer auf Passagierflügen problematischer, da der Schutz der Passagiere vor giftigen Gasen nur eingeschränkt möglich ist. Es bestehen keine Möglichkeiten, Passagiere durch Atemschutzmasken zu schützen. Auf Frachtflugzeugen ist es wegen des großen Vorrates an Atemsauerstoff durch Rauchschutzmasken möglich, durch gezielte Dekompression des Flugzeuges die zum Fortbestehen des Feuers erforderliche Sauerstoffzufuhr stark einzuschränken. Ein nicht lösbares Feuer erzwingt grundsätzlich eine Landung auf dem nächstgelegenen, evtl. auch nur sehr eingeschränkt geeigneten Flugfeld mit einer anschließenden Evakuierung des Flugzeuges. Eine solche Evakuierung, die häufig zu einer hohen Zahl verletzter Passagiere führt, kann durch extremes Wetter am Boden zu einem neuen, ernsthaften Problem für die Unversehrtheit der Insassen werden.

Kommt es durch Mehrfachausfälle von Systemen zu einer Situation, in der ein essentielles System nur noch einmal verfügbar ist, muss ein Flug ebenfalls schnellstmöglich beendet werden. Auch hierbei kann es durch die Kombination eines nur noch eingeschränkt manövrierbaren Flugzeuges und ungünstiger äußerer Bedingungen zu einer erheblichen, im Planungsstadium nicht vorhersehbaren Verschärfung der Situation kommen.

Wirtschaftliche Kriterien beim Einsatz zweimotoriger Flugzeuge

Unter **wirtschaftlichen Kriterien** ist der Einsatz zweimotoriger Flugzeuge auf Langstreckenflügen wie dargestellt zu beurteilen

Zu den Vorteilen gehören geringere Kosten für

- die Beschaffung (Finanzierungskosten)
- die Wartung der Triebwerke
- den Brennstoff.

Dagegen steigen die Aufwendungen für

- die Schulung der Besatzungen und Wartungsmannschaften
- die Systeme zur technischen Beobachtung der Flugzeuge und der Flugplanung

Abhängig von den geplanten Routenführungen entstehen Mehrkosten für

- evtl. höhere Reservekraftstoffmengen
- Umwege wegen der 180 Minuten Regel oder aus anderen operationellen Gründen
- Mangelnde Einsatzflexibilität
- Extrem hohe Bergungskosten nach Ausweichlandungen

Fazit

Der Autor beurteilt den Einsatz zweimotoriger Flugzeuge auf Langstrecken persönlich wie folgt :

Die Erfahrungen der letzten Jahre scheinen eine eindeutige Sprache zu sprechen, ist es doch nur sehr selten zu Ausweichlandungen zweimotoriger Flugzeuge nach Triebwerksausfällen gekommen. Insbesondere in der Reiseflugphase liegt die Rate der Triebwerksausfälle sehr niedrig. Insgesamt scheint der Betrieb von Zweimots kostengünstiger zu sein.

Entscheidenden Einfluss wird die Abfassung der LROPS Regeln haben, an der gegenwärtig mit durchaus unterschiedlichen Interessenslagen gearbeitet wird, und die auch Probleme zu erfassen sucht, die nicht vorrangig von der Anzahl der Triebwerke abhängen.

Der Autor sieht zwei andere Kriterien, die maßgeblichen Einfluss auf den Einsatz von Zweimots auf Langstrecken haben werden.

Auf allen Strecken, auf denen ein geplanter Langstreckenflug nichts anderes als ein aus vielen Kurzstrecken zusammengesetzter Flug ist, auf dem also in regelmäßigen Abständen Landeplätze zur Verfügung stehen, das Problem mithin nur ein flugmechanisches ist, werden sich Twins im Rahmen des technisch möglichen durchsetzen. Auf allen anderen Strecken, die über lange Strecken über extrem schwieriges Gelände führen, wird es vorwiegend beim Einsatz viermotoriger Flugzeuge bleiben. Auch die öffentliche Meinung darf nicht unberücksichtigt bleiben. Würde es zu einem Totalverlust eines Zweimots auf einer schwierigen Langstrecke mit einer hohen Zahl von Toten kommen, ist damit zu rechnen, dass eine stark steigende Nachfrage nach viermotorigen Flugzeugen entsteht.

Nach den Flugzeugen der Generation B 787 und A 350 muss eine Antwort auf die Frage nach den Flugzeugentwürfen und den Treibstoffen der Zukunft gefunden werden. Die Frage nach der Anzahl der Triebwerke wird sich dann nicht nur aus den hier behandelten Gründen unter Umständen neu stellen.